

Опыт применения



От партнеров программы Natural Gas STAR

COMPOSITE WRAP FOR NON-LEAKING PIPELINE DEFECTS

КОМПОЗИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Аннотация

Композитное покрытие является долговременной, экономически эффективной технологией ремонта трубопровода, которая пригодна для герметичных дефектов трубопровода типа вмятин, каверн, царапин и общей коррозии. Нанесение композитного покрытия возможно без отключения действующего трубопровода. Эта технология ремонта более оперативна и экономична относительно других видов ремонтных работ и при правильном применении обеспечивает восстановление несущей способности трубопровода.

Композитное покрытие может рассматриваться как альтернатива традиционным методам ремонта трубопровода, таким, как замена его участков или установка стальных разрезных вставок с полным оснащением. В сравнении с традиционными методами ремонта процесс нанесения композитного покрытия значительно дешевле, менее продолжителен и трудоемок. При замене трубопровода нанесение композитного покрытия имеет дополнительные преимущества в виде отсутствия перерывов в обслуживании заказчика и исключения эмиссии метана при удалении газа из поврежденного трубопровода.

Применение композитного покрытия в качестве альтернативы замене трубопровода обеспечивает сохранение объема газа, достаточного для немедленной окупаемости выполненных работ. Партнер программы Natural Gas STAR сообщает о проведении от 2 до 65 ремонтных работ за год с нанесением композитного покрытия на трубопроводе диаметром 10 дюймов (0,25 м) и более. При этом экономия газа составляет от 526 тыс. фут.³ (14,89 тыс. м³) до 27 500 тыс. фут.³ (778,71 тыс. м³) на каждый ремонт. За период 1993-1999 г. этот партнер, исключив замену трубопровода и используя нанесение композитного покрытия, получил экономию 106 133 тыс. фут.³ (3005,35 тыс. м³) газа.

Метод сокращения утечки газа	Объем экономии природного газа, тыс. фут. ³ (тыс. м ³)	Стоимость сэкономленного природного газа ²	Стоимость выполнения работ ³	Период окупаемости
Ремонт с нанесением композитного покрытия ¹	3 960 (112)	\$11 880	\$3 963	немедленный

¹ Устранение дефекта размером 6 дюймов (0,15 м) на трубопроводе диаметром 24 дюймов (0,6 м), эксплуатируемого под давлением 350 фунт/дюйм² (2,4 МПа), при размещении запорных вентилей на расстоянии 10 миль (16 км).

² Предполагаемая цена природного газа \$3/тыс. фут.³ (\$106/ тыс. м³)

³ Включает трудозатраты, оборудование и материалы, косвенные издержки. Примечание: стоимость замены трубопровода в данном примере составляет \$22 746, включая стоимость газа для продувки (азот при цене \$4/тыс. фут.³ (\$141/тыс. м³)). Более подробная информация представлена на рис. 5.

Герметичные (не вызывающие утечек) дефекты трубопровода, такие как коррозия, вмятины, каверны, царапины, трещины, могут быть причиной разрыва трубопровода. Департамент транспорта США (DOT) предлагает три основных метода устранения подобных дефектов на стальных трубопроводах:

- ★ удаление поврежденного участка трубопровода и его замена;
- ★ установка стальной разрезной вставки с полным оснащением на поврежденный участок;
- ★ нанесение композитного покрытия на поврежденный участок.

Технологии замены участка трубопровода и установка стальных вставок являются дорогостоящими, требующими длительных затрат времени и трудоемкими. Кроме того, замена части трубопровода требует отключения его поврежденного участка и соответственно временного прекращения подачи газа. Газ устраняется из трубопровода, поврежденный участок вырезается, а новый сегмент трубопровода устанавливается на это место методом сварки. Стальные вставки обычно используются для устранения утечки или ослабления потока в трубопроводе без остановки системы. Поврежденный участок трубопровода извлекают, очищают его внешнюю поверхность и устанавливают стальную разрезную вставку, закрепляя ее болтами или приваривая. Нанесение композитного покрытия в качестве альтернативы замены трубопровода обеспечивает сокращение рисков, связанных с безопасностью работ, сокращает время простоя трубопровода, экономит газ для продажи и уменьшает эмиссию метана в атмосферу. Системы композитного покрытия позволяют производить ремонт трубопровода без отключения подачи газа, продувки трубопровода или отсечения его участка.

Действие систем композитного покрытия заключается в передаче кольцевого напряжения от поврежденного участка через наполнитель с высокой степенью сжатия на композитную ленту, которая размещена вокруг трубопровода и прикреплена к нему связующим материалом. Установка накладки с композитным покрытием рассматривается как ремонт с полным оснащением по типу А (см. текст ниже).

Два класса вставок с полным оснащением

Класс А: Стальные вставки, которые не привариваются по окружности к трубопроводу.

Класс В: Стальные вставки привариваются по окружности.

Варианты композитного покрытия

Варианты систем композитного покрытия разнообразны. В этих системах используются различные материалы для намотки и адгезии, в некоторых из них - эпоксидные полимеры и отвердители. Примеры: Clock Spring®, StrongBack, Armor Plate®, и PermaWrap™. Каждый из вариантов имеет определенные преимущества:

- ★ Clock Spring® - система, состоящая из трех частей, в которой собственно покрытие формируется из стекловолокна и полиэфирной смолы.
- ★ Система StrongBack активизируется водой и может наноситься на увлажненные поверхности.

- ★ Armor Plate® производит множество систем покрытия, которые могут быть использованы в широком диапазоне условий, включая высокое или низкое давление, высокую или низкую температуру (ниже температуры замерзания) и использование под водой.
- ★ PermaWrap™ (производится компанией WrapMaster) имеет опцию, позволяющую обнаружить предыдущие витки намотки чувствительным анализатором, т.е. операторам не придется вскрывать участок трубопровода, который был ранее отремонтирован.

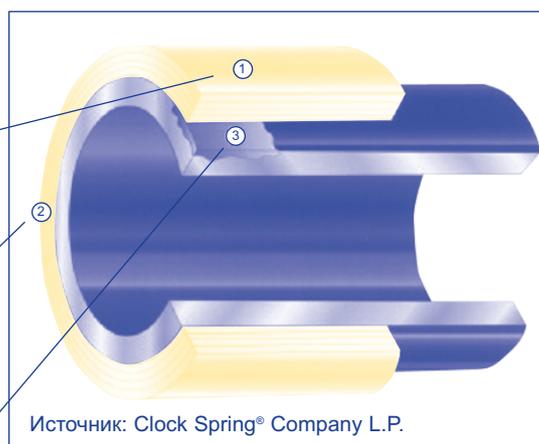
Большинство фирм-изготовителей предлагает видеofilмы, обучение и компьютерные программы анализа дефектов трубопроводов. Технологии композитного покрытия развиваются быстро, и партнерам следует внимательно изучать возможности их применения для устранения герметичных дефектов на участках трубопровода. В конце статьи в списке литературы приводится неполный перечень производителей композитного покрытия.

Технология Clock Spring®

Как отмечено выше, имеется несколько вариантов ремонта с использованием систем композитного покрытия. Некоторые партнеры Natural Gas STAR на протяжении многих лет применяют систему Clock Spring®.¹ Далее будет приведена более полная информация по материалам, технологии установки и работе этих систем.

Композитное покрытие Clock Spring® состоит из трех частей:

1. Высокопрочная, однонаправленная композитная структура из стекловолокна на полимерной основе.
2. Двухсоставная, высокоэффективная клеевая система быстрого отверждения.



3. Комбинированный наполнитель с высоким пределом прочности на сжатие для перераспределения нагрузки.

Структура композитного покрытия. Многослойное композитное покрытие обычно имеет толщину 0,062 дюйма (0,16 см) и содержит стекловолокно в пределах от 60 до 70 процентов от веса. Один виток покрытия охватывает один фут (0,3 метра) по направлению вдоль трубопровода. Композитное покрытие наносится 8 витками вокруг трубопровода и образует утолщение 0,5 дюйма (1,27 см) упрочняющего материала. Для каждого диаметра трубы длина спиральной полосы различна. Композитное покрытие Clock Spring® может применяться для трубопроводов диаметром от 4 до 56 дюймов (10,16-142 см).

¹Этот раздел посвящен системе Clock Spring® в целях упрощения экономического анализа, приводимого далее в этом документе. Программа Natural Gas STAR не утверждает, что эта система композитного покрытия лучше или хуже любой другой системы, представленной на рынке.

Клей. Двухкомпонентный клей - эпоксидный метилметакрилат используется для фиксации материала.

Перераспределение нагрузки (наполнитель). После ремонта трубопровода нагрузка, которую несут стенки трубопровода, перераспределяется через наполнитель на композитное покрытие. Внешний дефект заполняется материалом наполнителя, обладающим высоким пределом прочности на сжатие и предотвращающим ослабление стенок трубы и ее дальнейшее разрушение. Материал наполнителя - метакрилат имеет предел прочности сжатия более 800 фунт/дюйм² (5,5 МПа).

Установка. Для обеспечения правильного использования системы композитного покрытия необходимы определенные навыки. При применении системы композитного покрытия Clock Spring® процесс ремонта трубопровода включает следующие шаги.

1. Заполнение внешнего дефекта материалом наполнителя.
2. Нанесение восьми витков композитного покрытия вокруг трубопровода с наложением клея между слоями.
3. Затяжка композитной накладки на трубопроводе хомутом.
4. Просушка клеевого слоя в течение двух часов.
5. Нанесение покрытия на восстановленный участок трубопровода для предупреждения повреждений от коррозии или ультрафиолетового излучения (в зависимости от наземного или подземного расположения трубопровода).
6. Обратная засыпка трубопровода (если необходимо).

Нанесение наполнителя, клеевого слоя и композитных связующих обеспечивает эффективный ремонт, надежность которого, по оценкам производителя, сохраняется около 50 лет. В некоторых ситуациях полный проект от ведения земляных работ до обратной засыпки трубопровода может быть выполнен за 4 часа. Бригада из двух квалифицированных специалистов может завершить установку системы за 30 минут без учета времени на просушку.

Существует несколько важных моментов, которые следует учитывать при установке системы Clock Spring®:

- ★ Максимальная рабочая температура для стандартной системы Clock Spring® - 130°F (54°C) при наихудших внешних условиях при обводненном грунте.
- ★ Температура газа в трубопроводе может достигать 180°F (82,2°C), что допускает применение более совершенных моделей системы Clock Spring®.
- ★ При использовании системы Clock Spring® на наземном трубопроводе требуется нанесение защитного покрытия ввиду чувствительности материала к ультрафиолетовому излучению.
- ★ Ремонт по технологии Clock Spring® может быть проведен при сохранении давления в трубопроводе, но компании-изготовители рекомендуют его снижать. Это приводит к уменьшению нагрузки на поврежденный участок в период проведения ремонтных работ. При восстановлении давления и расширении восстанавливаемого участка нагрузка передается от металла на композитное покрытие, что приводит к ее перераспределению.

Экологические и экономические выгоды

- ★ При ремонтных работах по технологии Clock Spring® витки ленты должны выходить за пределы участка повреждения с обеих сторон не менее чем на 2 дюйма (5 см) для закрепления на исходном трубопроводе. Поэтому для устранения дефекта длиной 8 дюймов (20,3 см) можно использовать одну накладку с линейным размером 12 дюймов (30,5 см). Для участка повреждения протяженностью более 8 дюймов (20,3 см) несколько накладок из композитного покрытия крепятся между собой болтами для покрытия всей длины участка повреждения с сохранением зазора в 0,5 дюйма (1,3 см) при стыковом соединении. В США известен опыт стыкового соединения более 15 накладок Clock Spring® для устранения дефектов на трубопроводах диаметром от 16 до 30 дюймов (41 см до 76 см) при давлении в них 800 - 900 фунт/дюйм² (от 5,5 до 6,2 МПа).

Использование композитного покрытия, как альтернативы замене трубопровода, имеет следующие экономические и экологические выгоды.

- ★ Исключение затрат на установку обводных труб или временных ниток трубопровода, обеспечивающих непрерывную подачу газа в течение ремонта.
- ★ Отсутствие эмиссии метана в атмосферу. Использование композитного покрытия снижает издержки производства, связанные с утечками метана.
- ★ Простая и более быстрая установка без использования специального оборудования или высококвалифицированной рабочей силы (сварщиков). В течение 30 минут один комплект композитного покрытия может быть установлен бригадой из двух специально обученных рабочих. Время отверждения составляет приблизительно 2 часа.
- ★ Возможность ведения ремонтных работ при полном сохранении давления в трубопроводе. Хотя производители рекомендуют снижать давление в трубопроводе на время ремонтных работ.

Принятие решения

Партнеры программы могут рассчитать объем экономии метана и получение дополнительных финансовых средств от применения композитного покрытия вместо замены трубопровода на основе отработанных пяти этапов. Анализ затрат по нанесению композитного покрытия, приведенный в “Этапе 2”, также полезен при сравнении с вариантом ремонта стальных вставок, если они широко применяются вашей компанией.

Этап 1: Выбор места применения. Обычные герметичные дефекты, такие, как вмятины, каверны и общая коррозия, могут устраняться путем нанесения композитного покрытия. Дефекты, вызывающие потерю до 80% толщины стенки трубы, можно устранить нанесением композитного покрытия. При его применении не существует ограничений на величину давления. Композитное покрытие может быть временно использовано для устранения коррозии внутренней поверхности. Если источник коррозии устранен, то ремонт можно отнести к категории долговременных мер.

При рассмотрении возможности использования композитного покрытия важными факторами являются глубина и длина истощения стенок трубопровода или деформация, условный предел текучести, глубина дефекта и протяженность, диаметр трубопровода, толщина стенки и величина рабочего давления в трубопроводе. Для принятия

окончательного решения по возможности восстановления участка трубопровода в соответствии со стандартами, утвержденными Американским обществом инженеров - механиков (ASME), путем нанесения композитного покрытия, необходимо провести тщательные измерения в

полевых условиях. При этом может быть использовано программное обеспечение GRIWrap®, которое позволяет оценить возможность применения технологии нанесения композитного покрытия для конкретных условий ремонтных работ. Композитное покрытие может оказаться идеальным вариантом срочного устранения герметичных дефектов, когда сроки ремонта ограничены и нет резервных запасов газа для поддержания непрерывного газоснабжения.

При выявлении непригодности ремонта с нанесением композитного покрытия и определении необходимости удаления и замены труб партнерам следует рассмотреть другие технологии, рекомендуемые программой Natural Gas STAR, чтобы сократить эмиссию метана из участка трубопровода, находящегося в стадии ремонта. Дополнительно этот вопрос рассмотрен в отчете *"Применение технологии прокачки трубопровода для сброса давления газа до проведения техобслуживания"* серии "Опыт применения".

Этап 2: Расчет стоимости ремонта с нанесением композитного покрытия. Стоимость ремонта с нанесением композитного покрытия в большей степени зависит от размеров дефекта и диаметра трубопровода. Исходные затраты на применение технологии композитного покрытия включают стоимость трудозатрат, оборудования и материалов, а также косвенные затраты на получение разрешения и инспектирование. По мнению поставщиков, принявших участие в данном исследовании, бригада из двух человек способна установить одну систему композитного покрытия Clock Spring® за 0,5 часа. Примерный расчет допускает, что при нанесении композитного покрытия на каждого человека приходится 2,5 часа затрат времени (0,5 часа на установку и 2 часа на отверждение). Для более точного расчета продолжительности ремонта следует включать время на земляные работы, установку композитного покрытия, отверждение клея, осушку изоляции и обратную засыпку трубопровода. По данным одного из партнеров, на цикл от проведения земляных работ до обратной засыпки трубопровода при нанесении 4 композитных покрытий им было затрачено 16 часов. Оценка также должна включать прямые затраты на расходные ремонтные материалы (например, комплект композитного покрытия и изоляция) и косвенные расходы, предполагающие инспектирование и получение разрешения.

Комплект композитного покрытия Clock Spring® содержит большое количество предметов для ведения ремонтных работ, включая ленту, клей, наполнитель, покрасочный валик и кисти. Стоимость комплекта для ремонта трубопровода может составлять \$432 для трубопровода диаметром 4 дюйма (10 см) и почти \$2 000 для трубопровода диаметром 56 дюймов (142 см). Следует приобрести и дополнительное оборудование, включающее нажимной брус, скобу и дозатор

Пять этапов по оценке целесообразности ремонта с нанесением композитного покрытия:

1. Выбор места применения.
2. Расчет стоимости ремонта с нанесением композитного покрытия.
3. Оценка сокращения эмиссии метана.
4. Расчет стоимости замены трубопровода.
5. Оценка экономических показателей.

намоточного барабана. Это оборудование можно использовать несколько раз, и поэтому затраты на его приобретение включаются на весь период эксплуатации. Дополнительная информация по комплектации композитных покрытий приведена в Приложении.

Системы других производителей имеют иную комплектацию. В данной статье не сравниваются экономические показатели всех доступных систем композитного покрытия, но отметим, что данный рынок весьма конкурентоспособен. Приводимый далее экономический анализ включает ценовую информацию, предоставленную Clock Spring®. Партнеры могут найти самостоятельно систему композитного покрытия, более полно удовлетворяющую требованиям компании, используя методику, представленную в разделе "Опыт применения", и провести собственный экономический анализ.

На рис. 1 приведены общепринятые издержки по трудозатратам и оборудованию, используемые при расчете стоимости ремонта с нанесением композитного покрытия. Разовые затраты на обучение персонала и приобретение оборудования многократного использования исключены, т.к. предполагается, что они равны или ниже эквивалентной стоимости их применения по проекту замены трубопровода.

Заметим, что стоимость трудозатрат не является одинаковой для всех видов ремонта с нанесением композитного покрытия, поэтому рекомендуется предварительная консультация с компанией-изготовителем для окончательного расчета стоимости ремонта.

Рис. 1: Расчет стоимости установки композитного покрытия

Дано: Ремонт герметичного дефекта протяженностью 6 дюймов на трубопроводе диаметром 24 дюйма (61 см), работающего при давлении 350 фунт/дюйм² (2,4 МПа); предполагаемое время завершения проекта 16 часов¹ при использовании указанных категорий трудозатрат². Допустимые затраты на инженерно-техническое руководство и планирование составляют 25 % от стоимости трудозатрат на участке.

$C_{\text{раб.}}$	= Стоимость трудозатрат
	<i>Почасовая ставка рабочих на участке</i>
Механик	= \$34/час
Трубопроводчик	= \$31/час
Подсобный рабочий	= \$21/час
$C_{\text{оборуд.}}$	= Стоимость оборудования
	<i>Стоимость отдельного оборудования</i>
Комплект композитного покрытия	= \$878 за 1 комплект
Канавокопатель с обратной лопатой	= \$36/час
Оборудование пескоструйной обработки	= \$10/час
Покрытие трубопровода (5 % композитный комплект)	= \$44
$C_{\text{косв.}}$	= Косвенные издержки, включающие работу инспекционной бригады на участке, получение разрешения и т.д. (исходя из того, что они составляют 50 % от полной стоимости оборудования и трудозатрат ³)

(1) Расчет трудозатрат

$C_{\text{трдз.}}$ = Стоимость инженерно-технического руководства + трудозатраты на участке

$$\begin{aligned}\text{Трудозатраты на участке} &= \text{почасовая ставка} * \text{необходимое время для завершения работ} \\ &= (\$34 + \$31 + \$21) * 16 \\ &= \$1\,376\end{aligned}$$

$$\text{Стоимость инженерно-технического руководства} = 0,25 * \$1\,376 = \$344$$

$$C_{\text{трдз.}} = \$344 + \$1\,376 = \$1\,720$$

(2) Расчет стоимости оборудования

$C_{\text{оборуд.}}$ = Стоимость расходных материалов (комплект композитного покрытия и изоляция) + стоимость аренды/использования оборудования на месте

$$\begin{aligned}&= \$878 + \$44 + (\$36 * 16) + (\$10 * 16) \\ &= \$1\,658\end{aligned}$$

(3) Расчет косвенных затрат

$C_{\text{кос.}}$ = Стоимость разрешения, инспектирования, затраты на трассу трубопровода

$$\begin{aligned}&= 0,5 * (C_{\text{трдз.}} + C_{\text{оборуд.}}) = 0,5 * (\$1\,720 + \$1\,658) \\ &= \$1\,689\end{aligned}$$

(4) Расчет общей стоимости ремонта

$$\begin{aligned}\text{Общая стоимость ремонта} &= C_{\text{трдз.}} + C_{\text{оборуд.}} + C_{\text{кос.}} \\ &= \$1\,720 + \$1\,658 + \$1\,689 \\ &= \$5\,067\end{aligned}$$

¹ Информация, предоставленная партнером.

² Quick, P. "Economics of Pipeline Repair," The Southern Gas Association Transmission Operating Conference, New Orleans, LA, July 2001.

³ Приведена информация из статьи Boreman, David.J.et.al. "Repair Technologies for Gas Transmission Pipelines," Pipeline and Gas Journal, March 2000.

Этап 3. Оценка сокращения эмиссии метана. Ремонт с использованием композитного покрытия не применяется для устранения действующих утечек метана. Количество сохраненного газа соответствует объему газа, который мог быть выпущен из трубопровода при его замене. Технология ремонта с заменой трубопровода требует перекрытия газоснабжения и изоляции поврежденного участка с применением запорных вентилей. Интервал размещения запорных вентилей предусматривается стандартами Министерства транспорта США (DOT) и может составлять до 10 миль (16 км). Метан изолируемого участка трубопровода обычно выпускается в атмосферу.

На рис. 2 представлен возможный объем сохранения газа при использовании композитного покрытия при отказе от замены трубопровода, который можно рассчитать с помощью простой формулы, учитывающей давление в трубопроводе, длину изолируемого участка и площадь поперечного сечения.

Рис 2: Расчет экономии метана при ремонте с нанесением композитного покрытия

Дано: Компания проводит ремонт с нанесением композитного покрытия на трубопровод диаметром 24 дюйма (61 см) при давлении в нем 350 фунт/дюйм² (2,4 МПа) и расстоянии между запорными вентилями 10 миль (16 км).

D = Внутренний диаметр трубопровода, дюймы

L = Расстояние между запорными вентилями на трубопроводе, фут.

P = Давление в трубопроводе, psia для низкого давления¹ (psig для высокого давления)

P_{метан} = Текущая рыночная цена метана \$3/тыс. фут.³ (\$106/ тыс. м³)

V_{метан} = Объем эмиссии метана

(1) Расчет объема эмиссии метана

Экономия метана при использовании композитного покрытия = исключенная эмиссия метана при отказе от замены трубопровода

V_{метан} = объем экономии метана в результате нанесения композитного покрытия на трубопровод под рабочим давлением

$$V_{\text{метан}} = \frac{\left(D^2 * P * \left(\frac{L}{1000} \right) * 0,372 \right)}{1000}$$

$$= \frac{\left(24^2 * 350 * \left(\frac{52800}{1000} \right) * 0,372 \right)}{1000} = 3690 \text{ тыс. фут.}^3$$

(2) Расчет стоимости сэкономленного метана

Стоимость метана, сэкономленного при нанесении композитного покрытия

$$= V_{\text{метан}} * P_{\text{метан}}$$

$$= (3690 \text{ тыс. фут.}^3) * \$3/\text{тыс. фут.}^3 (\$106/\text{тыс. м}^3)$$

$$= \$11880$$

Источник: Pipeline Rules of Thumb Handbook, 5th Edition, 2002.

¹ Давление в трубопроводе менее 50 фунт/дюйм² (0,3 МПа) считается низким.

Этап 4. Расчет стоимости замены трубопровода. Затраты на замену трубопровода могут быть отнесены к трем категориям:

- ★ Процедура очистки.
- ★ Стоимость оборудования и трудозатраты.
- ★ Дополнительные косвенные издержки, связанные с заменой трубопровода, такие как стоимость оповещения при отключении газоснабжения, встречный запуск вспомогательных систем заказчика, инспекционные услуги и получение разрешения.

После замены трубопровода, существует необходимость продувки восстановленного участка перед его подключением в систему, что обуславливает необходимость покупки инертных газов, таких как азот. На рис. 3 приведена оценка затрат на цикл продувки, полученная путем умножения объема газа, требуемого для продувки, на его стоимость.

Рис. 3: Расчет затрат на продувку при замене трубопровода

Дано: Предположим, что трубопровод диаметром 24 дюйма (61 см) работает при давлении 350 psig (2,4 МПа) и запорные вентили размещены на расстоянии 10 миль (16 км) друг от друга.

D = Внутренний диаметр трубопровода

L = Расстояние между запорными клапанами на трубопроводе

$V_{уч}$ = Объем участка трубопровода

$P_{газ}$ = Текущая рыночная цена продувочного газа

$V_{газ}$ = Объем продувочного газа

(1) Расчет объема продувочного газа

$V_{газ}$ = Объем продувочного газа¹, используемый при цикле замены трубопровода
= $V_{уч} * 1,2$ (восстановление линии трубопровода + 20% потерь)

$$= \left(\frac{\pi * D^2 * L}{4 * 144 * 1000} \right) * 1,2$$

$$= \left(\frac{3,14 * 24^2 * 52800}{4 * 144 * 1000} \right) * 1,2$$

$$= 199 \text{ тыс. фут.}^3 \text{ (5635,05 м}^3\text{)}$$

(2) Расчет стоимости продувочного газа

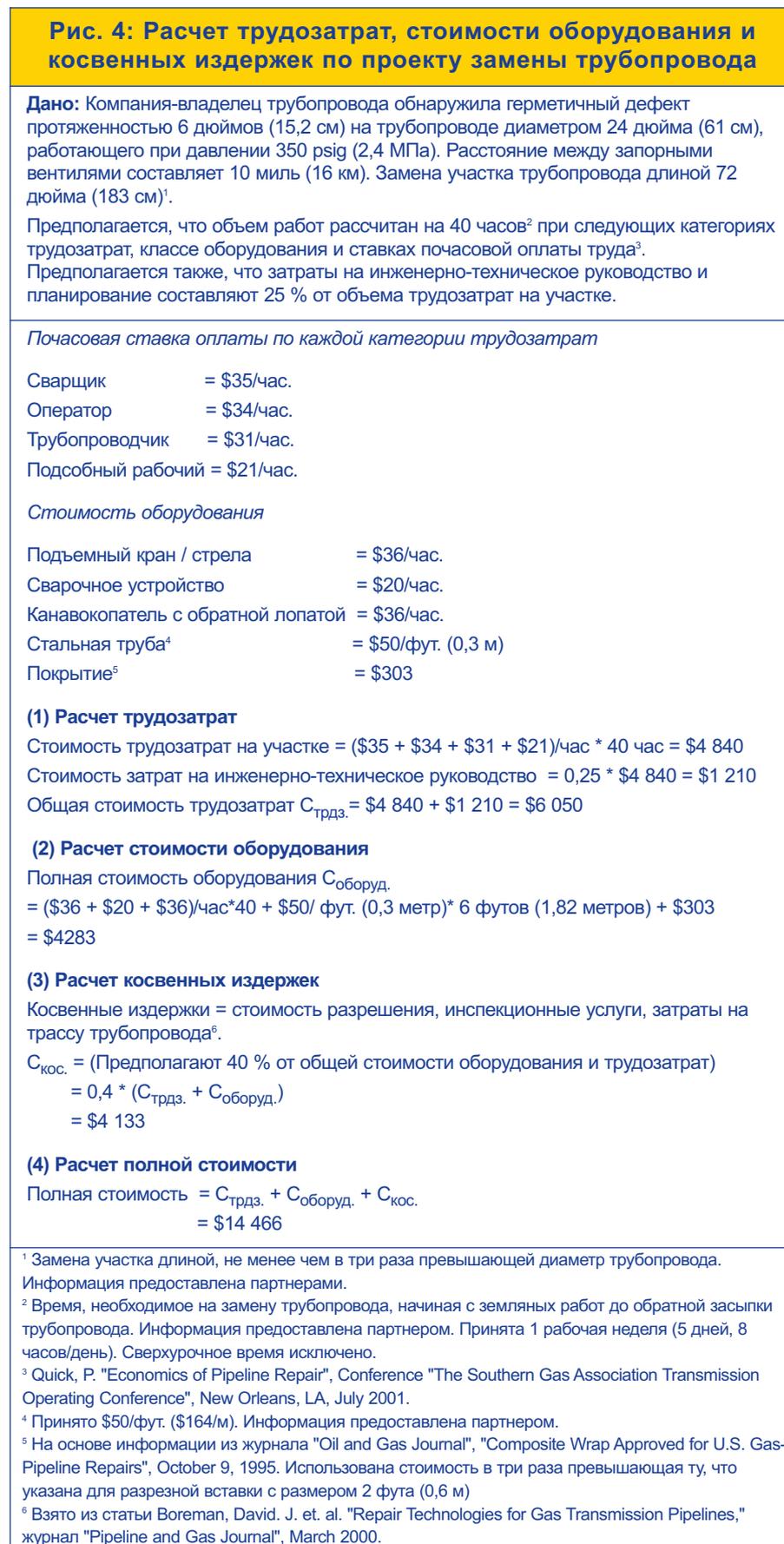
Стоимость продувочного газа = $V_{газ} * P_{газ}$

$$= 199 \text{ тыс. фут.}^3 \text{ (5635,05 м}^3\text{)} * \$4 / \text{тыс. фут.}^3 \text{ (141/тыс. м}^3\text{)}$$

$$= \$7961$$

¹ Исходя из того, что в качестве инертного газа взят азот по цене \$4/тыс. фут.³ (\$141/тыс. м³).

На рис. 4 показан расчет трудозатрат и стоимости оборудования по проекту замены трубопровода. В целом затраты по проекту замены трубопровода обычно выше, чем по проекту ремонта с нанесением композитного покрытия.



Этап 5: Оценка экономических показателей. На рис. 5 приведено сравнение затрат по вариантам замены участка поврежденного трубопровода и устранения дефекта с помощью нанесения композитного покрытия.

В каждом из случаев дефект был обнаружен на трубопроводе диаметром 24 дюйма, работающем при давлении 350 psig (2,4 МПа). Единственное отличие заключалось в размере дефекта; в первом случае размер дефекта составлял 6 дюймов (15 см), а во втором - 24 дюйма (61 см). Данные два примера выбраны ввиду того, что первый короткий дефект трубопровода представляет собой наиболее типичную ситуацию для проведения ремонта, а второй, при протяженном дефекте участка трубопровода, рассматривается как сценарий, когда стоимость ремонта с нанесением композитного покрытия выше стоимости замены трубопровода.

Для ремонта, как в первом, так и во втором случае, необходимо проведение земляных работ по выемке грунта и обратной засыпке трубопровода. В целях упрощения сравнительного анализа стоимость подобных общепринятых действий принята равной для обоих случаев и исключена из расчета.

Остаток издержек по материалам и трудозатратам индивидуален для каждого случая ремонта. На рис. 5 приведен перечень основных затрат по каждому виду ремонта. Подъемный кран или грузовик со стрелой необходимы только при замене трубопровода и затраты на них включены в основной анализ.

После выравнивания и приваривания замененного участка трубопровода к испытанию надежности сварных швов приступают через 24 часа. Анализ, приведенный на рис. 5, предполагает, что тестирование завершается в установленный срок.

Данный анализ демонстрирует, что ремонт с нанесением композитного покрытия приводит к существенной экономии метана, азота и трудозатрат. Стоимость комплекта композитного покрытия низкая по первому сценарию, так как для дефекта размером 6 дюймов (15 см) требуется только один ремонтный комплект. При дефекте, превышающем 6 дюймов (15 см), только одна экономия метана покрывает стоимость ремонта с нанесением композитного покрытия и обеспечивает немедленный период окупаемости.

Рис. 5: Сравнение экономических показателей замены трубопровода и нанесения композитного покрытия

Дано: Трубопровод диаметром 24 дюймов (61 см), работающий при давлении в 350 psig¹ (2,4 МПа) с размещением запорных вентилей на расстоянии 10 миль (16 км) друг от друга.

	Дефект 6 дюймов (15 см)		Дефект 234 дюйма (5,9 м)	
	Ремонт с нанесением композитного покрытия	Замена трубопровода	Ремонт с нанесением композитного покрытия	Замена трубопровода
Потеря метана	0	3960	0	3960
Продувочный газ, тыс. фут. ³ (м ³)	0	199 (5635,05)	0	199 (5635,05)
Количество комплектов композитного покрытия	1	0	20 ²	0
Стоимость эмиссии метана ³	\$0	\$11 880	\$0	\$11 880
Стоимость продувочного газа ⁴	\$0	\$796	\$0	\$796
Рабочая сила ⁵	\$1 720	\$4 350	\$3 440	\$6 525
Оборудование и материалы ⁶	\$922	\$2 843	\$18 440	\$7 280
Косвенные расходы	\$1 321	\$2 877	\$10 940	\$5 522
Общая стоимость ремонта	\$3 963	\$22 746	\$32 820	\$32 003
Наиболее экономичные варианты	X			X

¹ Эквивалентно снижению давления, при котором будет нанесено композитное покрытие.

² Основано на количестве расположенных рядом витков композитного покрытия за вычетом 2 дюймов (5 см) длины, необходимой с каждой оконечной стороны первой и последней накладки для крепления композитного покрытия на исходном трубопроводе.

³ При цене метана \$3 фут.³ (\$106/ тыс. м³).

⁴ При цене азота \$4/тыс. фут.³ (\$141/тыс. м³).

⁵ Замена трубопровода: предполагает 40 часов работы (без сверхурочного времени) для завершения проекта при дефекте 6 дюймов (15 см); 60 часов (без сверхурочного времени) - для проекта при дефекте протяженностью 24 дюйма (61 см). Ремонт с нанесением композитного покрытия предполагает 16 часов работы для реализации проекта при дефекте 6 дюймов (15 см) и 32 часа - для проекта при дефекте 234 дюйма (5,9 м). Ставки оплаты труда приведены на рис. 1 и 4. Трудозатраты при замене трубопровода исключают труд операторов, так как предполагалось, что их основная роль связана с проведением земляных работ и работ по обратной засыпке трубопровода.

Никаких подобных корректировок не существует для категорий трудозатрат при ремонте с нанесением композитного покрытия.

⁶ Исключена стоимость канавокопателя с обратной лопатой и оборудования пескоструйной обработки, представленная на рис.1 и 4. Для дефекта 234 дюйма (5,9 м) предполагается замена участка трубопровода протяженностью 39 футов (11,8 м) (двойная длина дефекта).

При устранении дефекта протяженностью 234 дюйма (5,9 м) 20 комплектов композитного покрытия наносятся встык и стоимость оборудования возрастает приблизительно в 20 раз по сравнению со случаем устранения короткого дефекта, в то время как при замене трубопровода она увеличивается в 2,5 раза. Стоимость сэкономленного метана и более низкие трудозатраты при нанесении композитного покрытия покрывают высокие материальные затраты, при этом стоимости обоих типов ремонтных работ становятся сопоставимыми.

Важно заметить, что в некоторых случаях (то есть при некоторых протяженных дефектах) замена трубопровода более рентабельна, несмотря на потери газа из-за утечек. Однако некоторые партнеры программы Natural Gas STAR при данных обстоятельствах

предпочитают использовать композитную намотку, нежели замену трубопровода, не учитывая тот факт, что стоимость не является единственным фактором, влияющим на выбор технологии ремонта. Приведенный ниже конкретный случай по выполнению ремонта партнером программы Natural Gas STAR показывает, как срочность ремонта, наличие резервного газоснабжения и скорость выполнения ремонта влияют на принятие окончательного решения.

Опыт партнера по применению композитного покрытия

Один из партнеров программы Natural Gas STAR сообщил о завершении более 300 ремонтов с нанесением композитного покрытия на герметичные дефекты протяженностью более 10 дюймов (25,4 см) на трубопроводе начиная с 1995 года. В одном случае партнеру пришлось отремонтировать дефект протяженностью 20 дюймов (51 см), соединяя встык две секции композитного покрытия. Так как поврежденный участок трубопровода находился вблизи ручья, вскрывать трубопровод было нельзя (если бы предполагалась замена участка трубопровода) для исключения попадания воды в трубопровод и предупреждения всех сопутствующих осложнений. Двое рабочих, прошедших обучение, за четыре часа установили композитное покрытие и провели обратную засыпку трубопровода. Полный цикл ремонта от земляных работ до обратной засыпки трубопровода был завершен за два дня, при этом газоснабжение ни разу не прерывалось.

Для этого партнера стоимость зачастую была вторичным аргументом при выборе ремонта с нанесением композитного покрытия, а не замены поврежденного участка. При этом исходные критерии включали следующее.

- ★ Можно ли проводить ремонт без вывода трубопровода из эксплуатации? Это действительно актуально там, где нет резервного источника газоснабжения.
- ★ Как быстро может быть закончен ремонт? На ремонт с нанесением композитного покрытия обычно необходимо два дня, а для замены трубопровода обычно требуется пять-семь дней.
- ★ Безопасно ли проведение ремонта? Владельцы трубопроводов всегда озабочены вопросами безопасности ведения ремонтных работ с нанесением композитного покрытия или установкой стальных вставок, выполняемых в режиме эксплуатации трубопровода. Ремонт с нанесением композитного покрытия не дает дополнительных гарантий безопасности по сравнению с установкой стальных вставок.

Ремонт с нанесением композитного покрытия обеспечивает экономически выгодное устранение эмиссии метана, которая характерна для герметичных дефектов трубопроводов. Партнеры программы могут предложить собственный опыт применения, представленной технологии, который включает следующее.

- ★ Использование композитного покрытия возможно в качестве долговременной меры устранения герметичных дефектов трубопровода и как временной меры устранения дефектов, вызванных коррозией внутренней поверхности.
- ★ Использование композитного покрытия при ремонте обеспечивает экономию метана, так как при этом отсутствует необходимость остановки эксплуатации поврежденного участка трубопровода и выпуска метана в атмосферу перед началом ремонтных работ.
- ★ Объемы экономии метана могут быть достаточными для покрытия затрат на ремонт, осуществляемый посредством нанесения композитного покрытия, и, как следствие, проект имеет немедленный срок окупаемости.

Опыт применения

- ★ Композитное покрытие может стать идеальной альтернативой для устранения герметичных дефектов при высокой срочности ремонта, так как может наноситься за короткий период и не требует включения резервного источника газоснабжения.
- ★ В период ремонта трубопровод может функционировать в обычном режиме при сниженном наполовину давлении, что позволяет избежать потенциальных перерывов в газоснабжении, потери прибыли и затрат, связанных с выпуском газа.
- ★ Легкость материала композитного покрытия обеспечивает относительную несложность установки. Два техника низкой квалификации могут выполнить ремонт за несколько часов, не используя сварку или специальное погрузочно-разгрузочное оборудование.
- ★ Наличие композитного покрытия исключает необходимость дорогостоящих задержек на спецификацию и доставку металлических вставок или сегментов трубы для ремонта трубопровода.
- ★ Нанесение композитного покрытия позволяет восстановить начальное давление в трубопроводе и улучшает его устойчивость к дальнейшему структурному разрушению.
- ★ Испытания сегментов трубопровода, восстановленных с помощью композитного покрытия, показали, что исследуемый участок трубы находится под непрерывной катодной защитой.
- ★ На сегодняшний день многие компании поставляют системы композитного покрытия, каждая из которых имеет свои преимущества. Поэтому очень важно вести расширенный поиск нужной системы.
- ★ Ведите учет сокращения эмиссии метана, достигнутого с применением предложенной технологии, и включайте эти данные в отчеты по программе Natural Gas STAR, если предварительно компания использовала технологию замены поврежденного участка трубопровода.

Литература

Armor Plate, Inc., <www.armorplateonline.com>.

ASME B31G, *Manual for Determining Remaining Strength of Corroded Pipelines: Supplement To B31 Code-Pressure Piping*, 1991.

Boreman, J. David, et al., *Repair Technologies for Gas Transmission Pipelines*, *Pipeline and Gas Journal*, March 2000.

Columbia Gas Transmission and Columbia Gulf Transmission, personal contact.

EPA Partnership, *Columbia Energy Reports Significant Reduction in Methane Emissions*, November 2000.

Furrow, M. L., U.S. Department of Transportation, personal contact.

Gas Research Institute, *Summary of Validation of Clock Spring® for Permanent Repair of Pipeline Corrosion Defects*, GRI-98/0227.

Leewis, Dr. Keith, Gas Technology Institute, personal contact.

McAllister, E.W., *Pipeline Rules of Thumb Handbook*, 5th Edition, 2002.

Mohitpour, M. et al., *Pipeline Rehab Responding to Regulatory Pressures, Technological Advances*, Oil and Gas Journal, January 20, 2003.

Oil and Gas Journal, *Composite Wrap Approved for U.S. Gas-Pipeline Repairs*, October 9, 1995.

Quick, Porter, *Economics of Pipeline Repair*, The Southern Gas Association Transmission Operating Conference, New Orleans, Louisiana, July 2001.

The Clock Spring® Company L.P., <www.clockspring.com>.

The StrongBack Corporation, <www.strongbackcorp.com>.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal contact.

U.S. Environmental Protection Agency. *Lessons Learned: Using Pipeline Pump-Down Techniques to Lower Gas Line Pressure Before Maintenance* (EPA430-B00-007, December 2000).

WrapMaster, Inc., <www.wrapm.com>.

Приложение

Композитное покрытие трубопроводов для Clock Spring	
Диаметр трубопровода, дюйм. (см)	Стоимость витка композитного покрытия (2001 г.)
4 (10,16)	\$432
6 (15,24)	\$402
8 (20,32)	\$466
10 (25,4)	\$508
12 (30,5)	\$549
14 (35,6)	\$599
16 (40,6)	\$649
18 (45,7)	\$717
20 (50,8)	\$794
22 (55,8)	\$859
24 (61)	\$878
26 (66)	\$924
28 (71)	\$969
30 (76)	\$998
32 (81,2)	\$1 051
36 (91)	\$1 129
40 (101)	\$1 331
42 (106,7)	\$1 386
44 (111,7)	\$1 488
48 (122)	\$1 668
56 (142)	\$1 951

Перечень комплектации композитного покрытия

- Композитная лента (ширина 12 дюймов (30,5 см), толщина после установки 0,5 дюйма (1,27 см))
- Клей
- Распределительный наполнитель
- Валик для нанесения покрытия
- Двусторонняя клей-подушка для начала работ
- Выравнивающие блоки
- Аппликационная кисть, карандаш для нанесения прямых линий на желоб, палка для перемешивания, смеситель для мгновенного перемешивания, резервуар для мусора
- Не входит в обязательный перечень: специализированный установочный стенд для проектирования

Источник: Clock Spring® Company L.P. Clock Spring® - зарегистрированная торговая марка NCF Industries Inc. Все права защищены. Произведено согласно лицензии NCF Industries Inc. Clock Spring symbol - торговая марка Clock Spring Company L.P.

Прайс-лист вспомогательного одноразового оборудования (без учета стоимости комплектации)

Стандартные вспомогательные стержни и хомуты	\$150
Вспомогательные стержни и хомуты для нагруженного режима работы	\$225
Стягивающий хомут	\$25
Механизм для подачи энергии	\$350
Температурный датчик с магнитом	\$32,50
Прибор для определения твердости Shore "A"	\$350
Вспомогательные стержни и хомуты для окончания работ	\$150
Обучение, без учета стоимости проезда	\$750



United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA430-B-03-017
Июль 2003 г.